

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
16 septembre 2004 (16.09.2004)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2004/079299 A2

(51) Classification internationale des brevets⁷ : G01D

(21) Numéro de la demande internationale : PCT/FR2004/000409

(22) Date de dépôt international : 24 février 2004 (24.02.2004)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité : 03/02441 27 février 2003 (27.02.2003) FR

(71) Déposant (*pour tous les États désignés sauf US*) : SUP-ELEC [FR/FR]; 3, rue Joliot-Curie, Plateau de Moulon, F-91192 Gif sur Yvette Cedex (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (*pour US seulement*) : MERCKEL, Olivier [FR/FR]; 3, rue du Général Leclerc, F-91440 Bures sur Yvette (FR). BOLOMEY, Jean-Charles [FR/FR]; 10, rue Toussaint Féron, F-75013 Paris (FR).

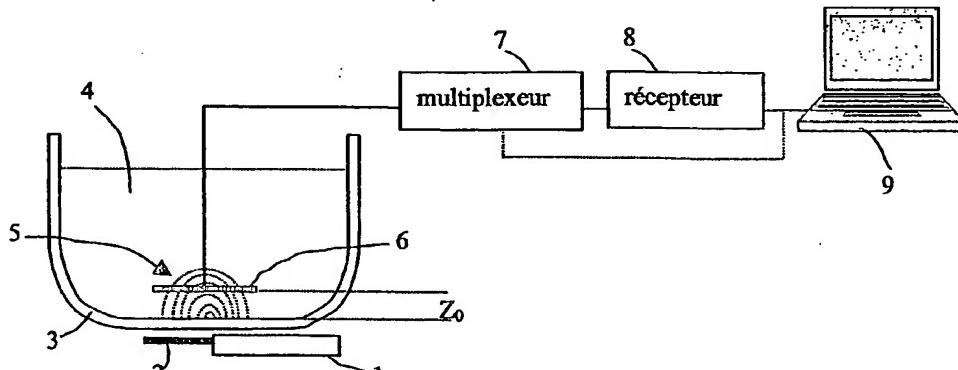
(74) Mandataires : ALLANO, Sylvain etc.; Pontet Allano & Associés Scrl, 25, rue Jean Rostand, Parc Club Orsay Université, F-91893 Orsay Cedex (FR).

(81) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible*) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: METHOD AND SYSTEM FOR MEASURING A SPECIFIC ABSORPTION RATE (SAR)

(54) Titre : PROCEDE ET SYSTEME POUR MESURER UN DEBIT D'ABSORPTION SPECIFIQUE DAS



7 MULTIPLEXER
8 RECEIVER

(57) Abstract: The invention relates to a very quick method of measuring a specific absorption rate (SAR) in a phantom filled with a liquid which reconstitutes the dielectric properties of a biological tissue, said phantom being exposed to a microwave emission from an antenna. The method is characterised in that it comprises the following steps consisting in: measuring the amplitude and phase of the electric field inside the phantom, for a plurality of points on a given surface which is defined in a concentration near-field zone of said electric field; performing a near-field near-field transformation from the data measured on the surface such as to determine the electric field in the volume inside the phantom; and calculating the value of the SAR.

(57) Abrégé : L'invention concerne un procédé pour mesurer très rapidement un Débit d'Absorption Spécifique DAS (SAR) dans un fantôme rempli d'un liquide reconstituant les propriétés diélectriques d'un tissu biologique, ce fantôme étant exposé à une émission micro-onde provenant d'une antenne; ce procédé est caractérisé en ce que : on mesure le champ électrique en amplitude et en phase à l'intérieur du fantôme, pour une pluralité de points s'inscrivant sur une surface

[Suite sur la page suivante]

WO 2004/079299 A2



MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

- (84) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI

(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— *sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport*

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

" Procédé et système pour mesurer un débit
d'absorption spécifique DAS "

5

La présente invention se rapporte à un procédé et un système pour mesurer un Débit d'Absorption Spécifique DAS dans un fantôme (enveloppe rigide remplie d'un liquide) reconstituant les propriétés diélectriques d'un tissu biologique homogène, ce fantôme étant exposé à une émission micro-onde provenant d'une antenne.

Elle trouve une application particulièrement intéressante, mais non exclusivement, dans la dosimétrie électromagnétique pour la caractérisation des téléphones mobiles.

La dosimétrie électromagnétique a pour objectif la détermination de la puissance dissipée dans des milieux absorbants, tels que, par exemple, les tissus biologiques. Elle revêt donc une grande importance dans le contexte du développement des communications cellulaires. Ce type de communications suscite en effet des interrogations quant à de possibles effets de l'exposition aux rayonnements électromagnétiques sur la santé. Ces effets peuvent être d'ordres thermique et athermique. Alors que les effets athermiques font l'objet de nombreuses spéculations, les effets thermiques sont bien contrôlés et pris en compte dans les normes. Celles en vigueur pour les téléphones portables visent à limiter le niveau de puissance dissipée dans la tête de l'usager. Pratiquement, c'est la densité de puissance dissipée par unité de masse de tissu biologique, le DAS en français (Débit d'Absorption Spécifique) ou le SAR en anglais ("Specific Absorption Rate"), qui est prise en compte. La recommandation européenne 1999/519/EC et le décret français n° 2002-775 du 3 mai 2002 fixent ainsi la valeur maximale du DAS intégré dans 10g de tissu à 2W/kg,

alors que, pour la norme américaine ANSI/IEEE C95.1/1991, elle est de 1,6 W/kg dans un volume de 1g.

La norme européenne prEN50361 précise le protocole de mesure du SAR. Une sonde électrique isotrope est déplacée 5 dans un fantôme, récipient dont la forme reproduit celle d'une tête et qui est rempli d'un liquide dont les propriétés électromagnétiques sont équivalentes à celles des tissus biologiques constituant la tête. Les caractéristiques diélectriques de ce liquide ont été 10 déterminées par comparaison des SAR obtenus par modélisation numérique, d'une part, avec un fantôme homogène et, d'autre part, avec une tête "réelle" discrétisée. Le pas d'échantillonnage du champ électrique dans le fantôme est fixé à quelques millimètres, dans un 15 volume exploré de quelques centimètres cubes. Le SAR moyen dans un cube de 10g ou 1g, selon la norme, se déduit des valeurs mesurées par inter-/extrapolation.

Selon la norme, pour un même téléphone, les mesures doivent être répétées pour deux positions par rapport au 20 fantôme et pour trois fréquences autour de 900 MHz et 1800 MHz. Plus précisément, le téléphone portable, en émission à puissance maximale, est placé à proximité du fantôme suivant douze configurations nominales d'utilisation. Au total, il faut entre une demi-journée et une journée 25 complète pour tester complètement un téléphone.

À côté de cet aspect strictement normatif, d'autres besoins se font évidemment sentir en terme de dosimétrie. Par exemple, lors du développement et de la mise au point de nouvelles antennes, il est nécessaire d'obtenir avec un 30 maximum de rapidité des informations relatives au SAR, de la même façon que sont pratiquées les mesures d'adaptation d'impédance, de diagrammes de rayonnement, de puissance rayonnée et d'efficacité de rayonnement. De même, avant de lancer une mesure normative lourde, peut-il être utile 35 d'obtenir rapidement une première information sur la valeur du SAR. Enfin, il est raisonnable d'envisager l'évolution

des normes par l'amélioration de leur représentativité et de leurs conditions de mise en œuvre.

A côté des systèmes de mesure normatifs, on connaît des systèmes de mesure du SAR tels que celui décrit dans le 5 document WO 0004399. Ce document divulgue un concept général de mesure du SAR dans lequel une sonde est placée à l'intérieur d'un fantôme sphérique. Le téléphone portable est placé contre le fantôme selon plusieurs positions jusqu'à obtenir un maximum du signal généré par la sonde.

10 Le document US 5 610 519 décrit une sonde comportant deux bobines orthogonales permettant de distinguer le champ magnétique émis par l'antenne de celui réfléchi par les parois du fantôme.

D'une façon générale, les systèmes de l'art antérieur 15 proposent des solutions lentes et parfois compliquées à mettre en œuvre dans la mesure où il est communément admis que les phénomènes physiques, en particulier électromagnétiques, à l'intérieur du fantôme sont extrêmement complexes et les techniques classiques de 20 mesure des champs électromagnétiques en espace libre n'y sont que difficilement directement applicables.

La présente invention a pour but de proposer un procédé pour mesurer le SAR avec précision tout en réduisant considérablement le temps de mesure, jusqu'à 25 atteindre le temps réel.

Un autre but de l'invention est de proposer un procédé simple à mettre en œuvre, car ne nécessitant pas nécessairement un déplacement de la sonde de mesure.

On atteint au moins l'un des objectifs précités avec 30 un procédé pour mesurer un Débit d'Absorption Spécifique DAS dans un fantôme rempli d'un liquide reconstituant les propriétés diélectriques d'un tissu biologique, ce fantôme étant exposé à une émission micro-onde provenant d'une antenne. Selon l'invention :

35 - on mesure le champ électrique (par exemple 2 composantes) en amplitude et en phase à l'intérieur

- 4 -

du fantôme, pour une pluralité de points s'inscrivant sur une surface donnée définie dans une zone de champ proche de concentration dudit champ électrique;

- 5 - on réalise une transformation champ proche-champ proche à partir des données mesurées sur cette surface de façon à déterminer le champ électrique dans le volume à l'intérieur du fantôme; et
- 10 - on calcule la valeur du DAS, notamment le DAS local et moyenné dans une masse de 10g ou 1g, selon la norme.

Le fait de mesurer d'abord le champ électrique sur une seule surface, qui est de préférence un plan parallèle à la paroi du fantôme d'où provient le signal micro-onde, puis 15 d'utiliser une transformation champ proche-champ proche pour déterminer le champ dans le volume interne au fantôme, va à l'encontre des préjugés généralement admis selon lesquels une telle technique de champ proche, normalement utilisée en espace libre ne peut pas être directement 20 appliquée ici car :

- 25 - on n'est pas en espace libre homogène, mais dans une géométrie confinée,
- 30 - on effectue, généralement, des transformations champ proche-champ lointain permettant d'obtenir le champ rayonné à grande distance et non le champ proche nécessaire au calcul du DAS,
- 35 - on réalise ici des mesures dans un milieu à perte, et
- 40 - la présence d'ondes évanescentes au voisinage de la paroi du fantôme risquerait, *a priori*, de fausser considérablement les mesures, d'où un calcul erroné du DAS là, précisément, où ce DAS devrait être maximum.

Cependant, des études menées sur la répartition du 45 champ électrique à l'intérieur du fantôme ont montré que le

champ était fortement concentré dans une zone à l'intérieur du fantôme proche de la paroi exposée de telle sorte que les bords latéraux du fantôme interviennent peu.

Deux méthodes principales existent pour effectuer la transformation champ proche-champ lointain ou champ proche-champ proche : la méthode de développement modal (coordonnées planes, cylindriques ou sphériques...) et la méthode des sources équivalentes.

La géométrie plane, ou quasi-plane, de la plupart des fantômes au voisinage de l'antenne testée, ainsi que la facilité de réalisation d'un réseau de sondes plan et la simplicité de l'algorithme de transformation du champ proche en coordonnées planes, a conduit au choix de la première méthode pour la reconstruction du champ : le développement en sommes d'ondes planes. On peut trouver les fondements théoriques de cette méthode bien connue dans CLEMMOW P. C., « *The plane wave spectrum representation of electromagnetic fields* », Pergamon Press, 1966, par exemple, ainsi que le principe de sa mise en œuvre pratique pour les mesures d'antennes (D. SLATER, « *Near Field Antenna Measurements* », Artech House, Boston, 1991).

Cependant, à la différence des applications traditionnelles de mesure d'antennes en champ proche, on s'intéresse ici à la mesure du champ proche et à sa reconstruction dans un milieu à pertes, dans lequel le vecteur d'onde est complexe, de part et d'autre du plan de mesure, et non pas en champ lointain.

La reconstruction spectrale permet, à partir d'un unique plan de mesure du champ électrique, de calculer le champ dans des plans plus ou moins profonds, par propagation ou rétro-propagation des ondes à partir du plan de mesure, pour ensuite en déduire par exemple le SAR local et moyenné dans 10g ou 1g dans le fantôme.

Selon une caractéristique avantageuse de l'invention, on mesure le champ électrique en utilisant au moins une sonde apte à mesurer deux composantes tangentielles, à la

surface de mesure, du champ électrique en chaque point de mesure; la composante normale étant déduite par calcul à partir des deux composantes tangentielles.

Contrairement à l'art antérieur dans lequel la méthode dosimétrique classique repose sur la mesure de la valeur quadratique des trois composantes du champ, le procédé selon l'invention propose la mesure de deux composantes du champ électrique, mais en amplitude et en phase.

Le champ proche mesuré dans un plan arbitraire à quelque distance de la paroi, dans le liquide du fantôme, peut s'exprimer comme une combinaison linéaire d'ondes planes. En particulier, le choix d'une surface de mesure de géométrie plane peut se justifier par le caractère directif et limité en extension du rayonnement dans le fantôme. En effet, on considère que le champ est concentré dans un faible espace, réduisant les risques d'erreur de troncature. Par ailleurs, les interfaces des fantômes sont en général planes (fantômes génériques) ou quasi-planes (fantômes normatifs).

A partir de la connaissance des spectres d'ondes planes des deux composantes tangentielles du champ, on peut reconstruire le spectre d'ondes planes de la composante normale (calcul classique que l'on pourra trouver par exemple dans E. ROUBINE et J.Ch. BOLOMEY, « Antennes, tome I, p.49 », Masson, 1978). On déduit, par transformée de Fourier, la composante normale du champ électrique dans un plan quelconque parallèle au plan de mesure.

Les reconstructions du champ sont accessibles dans des plans plus proches ou plus lointains de la source par rapport au plan de mesure (respectivement rétro-propagation ou propagation), à condition de rester dans le fantôme, c'est-à-dire dans le même milieu (sans source) que celui de la mesure.

Avantageusement, on utilise les algorithmes de transformées de Fourier rapides (FFT : *Fast Fourier Transform*) pour calculer les spectres d'ondes planes et les

champs reconstruits, tout en considérant les pertes dans le liquide. Ces calculs nécessitent la connaissance de la fréquence d'émission de l'antenne, la position en z du plan de mesure, la conductivité et la permittivité du liquide
5 remplissant le fantôme.

Une fois le champ électrique reconstruit dans toute la partie utile du fantôme, le SAR local peut être calculé, puis le SAR moyenné dans 1 g ou 10 g.

Selon un mode de mise en œuvre de l'invention, au
10 cours de la transformation champ proche-champ proche, on réalise un filtrage, spectral ou spatial par exemple, de façon à limiter des effets de remontée de bruit dus aux ondes évanescentes. Ceci a pour avantage d'améliorer la qualité de la rétro-propagation du champ. Selon
15 l'invention, le filtrage peut être réalisé avant et/ou après la rétro-propagation.

On peut par exemple réaliser un filtrage spectral de type circulaire consistant en fait à éliminer les valeurs du spectre à (rétro)propager situées au-delà d'un cercle de
20 rayon donné. En ajustant la valeur du rayon du cercle, il est possible de prendre en compte une partie plus ou moins importante du domaine évanescents. Après une étude numérique du comportement des ondes évanescents dans le milieu à pertes, il est apparu que le rayon du cercle à prendre en
25 compte peut être simplement déterminé comme celui du domaine visible du milieu sans perte correspondant.

Pour atténuer les effets de bord résultant de la coupure brutale du spectre, semblables à ceux dus à la troncature spatiale mais dans le domaine spectral, on peut
30 adopter une fenêtre de filtrage de Tukey HARRIS F. J., « On the use of windows for harmonic analysis with the Discrete Fourier Transform », Proceedings of the IEEE, vol. 66, n° 1, p. 51-83, 1978.

On peut également réaliser un filtrage au moyen d'une
35 détection de contours, qui vise à ne conserver que la partie centrale du spectre d'ondes planes à filtrer, par la

détection du premier minimum local du spectre autour de sa valeur maximale.

Bien que le procédé puisse s'appliquer à une sonde unique déplacée mécaniquement, selon un mode de mise en œuvre avantageux de l'invention, on mesure le champ électrique au moyen d'une pluralité de sondes disposées en réseau de telle sorte qu'on évite le déplacement mécanique de la sonde. On réalise ainsi des mesures rapides, « en temps réel ». Compte tenu de la rapidité des calculs nécessaires à la transformation du champ proche mesuré et au calcul du DAS moyenné, obtenu au besoin par corrélation avec la valeur du DAS maximum local, on peut visualiser en temps réel sur un écran de visualisation la valeur du champ électrique, du DAS et celle du DAS moyenné dans 1g et 10g selon la puissance de calcul disponible.

Par temps réel, on entend une cadence de plus d'une dizaine de mesures par seconde.

De préférence, on utilise des sondes bipolarisées de façon à mesurer deux composantes tangentialles, à ladite surface, du champ électrique en chaque point de mesure et en déduire l'amplitude et la phase de chacune d'elles; la composante normale étant déduite par calcul à partir des deux composantes tangentialles.

Par ailleurs, dans le cas de téléphones portables, les sondes grâce auxquelles on mesure le champ électrique se situent sensiblement à une distance de quinze à vingt-cinq millimètres de la paroi interne exposée du fantôme, du côté d'où provient le signal micro-onde de l'antenne, afin de minimiser les interactions entre les sondes et la paroi.

Suivant un autre aspect de l'invention, il est proposé un système pour mesurer un Débit d'Absorption Spécifique DAS dans un fantôme rempli d'un liquide reconstituant les propriétés diélectriques d'un tissu biologique, ce fantôme étant exposé à une émission micro-onde provenant d'une antenne; ce système est caractérisé en ce qu'il comprend :

- des moyens pour mesurer le champ électrique en amplitude et en phase, à l'intérieur du fantôme, pour une pluralité de points s'inscrivant sur une surface donnée définie dans une zone de champ proche de concentration dudit champ électrique;
- des moyens de traitement pour réaliser une transformation champ proche-champ proche à partir des données mesurées sur cette surface de façon à déterminer le champ électrique dans le volume à l'intérieur du fantôme, et pour calculer la valeur du DAS.

Selon l'invention, chaque sonde bipolarisée comporte deux dipôles électriques orthogonaux constitués par quatre pistes distinctes conductrices coplanaires fixées en forme de croix sur un substrat mince et rigide.

Le réseau de sonde peut être un réseau plan disposé parallèlement à la paroi du fantôme d'où provient le signal micro-onde. Il peut aussi être un réseau dont la forme « imite » la forme d'un côté du fantôme exposé au signal micro-onde.

Avantageusement, les moyens de traitement peuvent comprendre :

- un multiplexeur pour piloter successivement chaque sonde,
- un analyseur de réseaux (ou un oscilloscope) pour recevoir les signaux micro-ondes provenant des sondes, et
- un module de traitement tel qu'un micro-ordinateur pour réaliser la transformation champ proche-champ proche, calculer le DAS et piloter le multiplexeur et l'analyseur de réseau (ou l'oscilloscope).

Selon une caractéristique de l'invention, le multiplexeur peut comprendre, disposés en cascade, et pour une rangée de six sondes :

- 10 -

- un premier commutateur (par exemple de type SP6T) pour sélectionner successivement les deux polarisations horizontale et verticale des sondes, dont les entrées sont reliées à deux symétriseurs,
- 5 - quatre autres commutateurs (par exemple de type SP6T) pour sélectionner l'une des six sondes. Chaque commutateur est affecté à l'une des quatre pistes des sondes. Chaque entrée de chaque commutateur est donc relié à chacune des six sondes. Les quatre sorties des commutateurs sont reliées deux à deux aux entrées des symétriseurs.

10 Selon une variante de l'invention, le multiplexeur peut être intégré sur un circuit électronique composé de commutateurs microondes intégrés montés en surface (CMS),
15 voire en circuits intégrés microondes.

A titre d'exemples, dans le cas de la mesure du DAS de téléphones portables, à 900 MHz et 1800 MHz notamment, les sondes peuvent être constituées en un réseau plan carré de côté sensiblement égal à soixante-dix millimètres; la 20 distance entre deux sondes peut être au plus égale à la moitié de la longueur d'onde du signal micro-onde émis dans le liquide du fantôme; la distance entre le réseau de sondes et la paroi du fantôme exposée au signal micro-onde peut être typiquement sensiblement comprise entre quinze 25 millimètres et vingt-cinq millimètres, selon la bande de fréquences considérée; et les sondes peuvent être constituées en un réseau de trente-six sondes.

Suivant une variante avantageuse de l'invention, les moyens de mesure peuvent comprendre un réseau de dipôles 30 associé à un collecteur selon le principe de la méthode de diffusion modulée (BOLOMEY J.CH., GARDIOL F. « *Engineering applications of the modulated scatterer technique* » Artech House, Boston, 2001), chaque dipôle étant chargé par une diode ou à un élément photosensible qui, lorsqu'elle est 35 modulée, diffuse un signal proportionnel au champ électrique à l'emplacement du dipôle associé. Le signal

diffusé est capté par le collecteur. La modulation successive des différentes diodes permet de mesurer le champ à l'emplacement des dipôles, sans nécessiter de multiplexage microonde.

5 D'autres avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront à l'examen de la description détaillée d'un mode de mise en œuvre nullement limitatif, et des dessins annexés, sur lesquels :

La figure 1 est une vue schématique simplifiée de
10 l'ensemble du système selon l'invention;

La figure 2 est une vue de dessous d'un réseau de sonde pour la mesure du champ électrique selon l'invention;

La figure 3 est un organigramme illustrant le principe simplifié de la méthode de reconstruction spectrale;

15 La figure 4 est un organigramme illustrant des étapes de traitement pour l'obtention du débit d'absorption spécifique selon l'invention;

La figure 5 est une vue schématique en perspective d'une sonde unique bipolarisée selon l'invention;

20 La figure 6 est une vue en coupe de la sonde bipolarisée selon l'invention;

La figure 7 est un schéma détaillé d'un exemple de réalisation d'un multiplexeur selon l'invention;

25 Les figures 8 et 9 sont des vues schématiques d'un dispositif de mesure selon la méthode de diffusion modulée selon l'invention.

Bien que l'invention n'y soit pas limitée, on va maintenant décrire un système et un procédé pour mesurer le débit d'absorption spécifique relatif au rayonnement émis
30 par une antenne d'un téléphone portable au moyen d'un réseau de sondes bipolarisées.

En référence à la figure 1, on distingue un fantôme générique (de type sphère tronquée) 3 contenant un liquide 4 selon la norme CENELEC prEN50361 pour la caractérisation
35 de radio-téléphones.

Le téléphone portable 1 devant être caractérisé et disposé selon les positions normalisées sous le fantôme 3 de telle sorte que l'antenne de ce téléphone portable émet un rayonnement dans le liquide 4. Ce rayonnement, 5 représenté dans le liquide 4 sous forme de lignes de champ sensiblement concentriques 5, crée en chaque point du liquide un champ électrique qui peut être mesuré.

Pour mesurer la répartition du champ électrique dans le volume à l'intérieur du fantôme 3, on place un réseau de 10 sondes 6 à une distance prédéterminée z_0 typiquement sensiblement comprise entre quinze mm et vingt-cinq mm du fond du fantôme (soit par exemple 23 mm).

Comme on peut le voir sur la figure 2, le réseau de sonde 6 est constitué par un substrat rigide mince carré de 15 70 millimètres de côté et portant 36 sondes bipolarisées 10. L'invention est notamment remarquable par le fait qu'en utilisant des sondes bipolarisées, on mesure les deux composantes tangentielles au plan de mesure du champ électrique de façon à déterminer le champ électrique en 20 amplitude et en phase de chacune de ces composantes.

Les sondes bipolarisées 10 sont sélectionnées les unes après les autres comme on le verra plus en détail conformément à la figure 7.

Sur la figure 1, le multiplexeur 7 permet de 25 sélectionner successivement les sondes bipolarisées 10. Les signaux récupérés à partir de ces sondes sont dirigés vers un récepteur 8 tel qu'un analyseur de réseaux (c'est à dire un voltmètre vectoriel) ou un oscilloscope, puis convertis sous forme numérique de façon à être traités par un micro 30 ordinateur 9. Ce micro ordinateur 9 est doté de moyens logiciel et matériel pour gérer et synchroniser la mesure du champ électrique et pour calculer le débit d'absorption spécifique à partir du champ électrique.

Sur la figure 3, on voit le principe simplifié de la 35 méthode de reconstruction spectrale. On réalise une transformée de Fourier rapide pour obtenir le spectre

d'ondes planes dans un plan z_0 à partir de données de champ planaires (plan z_0). On réalise la (Rétro)propagation : multiplication par $\exp(-jk_z z)$, avec z la distance de (rétro)propagation et k_z la composante complexe suivant z de 5 la constante de propagation du milieu. On obtient alors le spectre d'ondes planes dans un plan z . En appliquant une transformée de Fourier rapide inverse, on détermine des données de champ planaires (plan z) à partir desquelles on calcule le SAR local et moyenné.

10 L'organigramme de la figure 4 illustre différentes étapes effectuées au sein du micro ordinateur 9 afin de calculer le débit d'absorption spécifique. A l'étape 11, on récupère pour chaque sonde, les deux composantes du champ électriques E_x , E_y pour $z = z_0$. Ces données sont 15 considérées comme des données de champ proche. Pour tenir compte des ondes évanescentes et limiter leur influence, on effectue un filtrage 12, notamment de type spectral circulaire.

Plus précisément, ce filtrage est réalisé au cours 20 d'une étape 13, dans laquelle on fait subir aux données de champ proche, obtenues pour un plan $z = z_0$, une transformation champ proche - champ proche de façon à déterminer le champ électrique dans tout le volume du liquide. On applique en particulier des algorithmes de 25 Transformée de Fourier Rapide.

L'étape 13 nécessite la connaissance des caractéristiques du liquide telles que la permittivité et la conductivité, ainsi que la fréquence de travail.

A l'étape 15, on obtient le champ électrique E_x , E_y , 30 E_z en tout point du liquide. A l'étape 16, on calcule le DAS local en utilisant la formule suivante : $DAS = \sigma(E_x^2 + E_y^2 + E_z^2)/\rho$

A l'étape 17, selon la norme à respecter, on calcule la valeur du DAS maximum moyen caractéristique du téléphone 35 portable. Par exemple pour la norme CENELEC prEN50361 on prend le maximum du DAS moyenné sur 10 grammes. Ensuite, à

l'étape 18, on peut visualiser en temps réel sur l'écran du micro ordinateur 9 une représentation en trois dimensions du champ électrique dans le liquide du fantôme ainsi que la valeur du DAS maximum local et moyenné.

5 Le traitement de données au sein du micro ordinateur 9 est optimisé de façon à obtenir une quinzaine d'images par seconde et ainsi visualiser le champ électrique et le DAS en temps réel.

Sur les figures 5 et 6, on voit un peu plus en détail
10 une sonde unique bipolarisée. Chaque sonde est constituée par 4 pistes disjointes 20, 22, 24, 26 gravées en croix sur un substrat 19 de circuit imprimé. Chaque piste de chaque dipôle est reliée (par soudure ou par collage) à l'âme centrale d'un câble coaxial fin vertical. Les deux câbles
15 reliés aux deux pistes d'un même dipôle sont connectés aux bornes d'un symétriseur (coupleur hybride 3dB 0-180°) comme on le verra en détail ci-dessous. Une sonde bipolarisée nécessite donc deux symétriseurs distincts.

. Les quatre câbles coaxiaux 21, 23, 25 et 27 sont
20 accolés les uns aux autres pour assurer le contact entre les blindages et de telle sorte que les quatre pistes sont proches sans pour autant se toucher. De préférence, le substrat 19 de circuit imprimé est choisi de telle sorte que sa permittivité est proche de celle du liquide dans
25 lequel il va être plongé. Contrairement aux systèmes de l'art antérieur dans lesquels, grâce à une sonde détectée isotrope, on récupérait uniquement l'amplitude du champ électrique sous forme d'une tension, les sondes bipolarisées selon l'invention permettent de mesurer un
30 signal micro-onde renfermant l'amplitude et la phase de deux des composantes du champ électrique.

Pour récupérer les données de chaque sonde, on réalise un balayage électronique dont un mode de réalisation est représenté sur la figure 7. Pour une compréhension plus
35 aisée, on considère un réseau 28 constitué de 6 sondes bipolarisées. Chaque sonde comporte quatre pistes

identifiées par les éléments X, -X, Y et -Y. Le multiplexeur 7 comprend un commutateur 29 qui transmet à chaque instant un signal provenant d'une piste X, -X, Y ou -Y vers l'analyseur de réseaux 8. Ce commutateur 29 5 comprend une première entrée reliée à un premier symétriseur 30 (coupleur hybride 0-180°) symbolisé par la valeur absolue de Y et une seconde entrée reliée à un second symétriseur 31 symbolisé par la valeur absolue de X. Chaque symétriseur est doté de deux entrées, une première 10 entrée à 0 degré et une seconde entrée déphasée de 180 degrés. Le symétriseur 30 est connecté par sa première entrée 0 degré à un commutateur 32 (-Y). La seconde entrée 180 degrés du symétriseur 30 est reliée à un commutateur 33 (Y). Le commutateur 32 comporte 6 entrées, chacune reliée à 15 la piste -Y de chaque sonde bipolarisée. De même le commutateur 33 comporte 6 entrées, chacune reliée à la piste Y de chaque sonde bipolarisée.

De même le symétriseur 31 est relié par sa première entrée 0 degré à un commutateur 34 (-X), et par sa seconde 20 entrée 180 degrés à un commutateur 35 (X). le commutateur 34 comporte 6 entrées chacune reliée à la piste -X de chaque sonde bipolarisée. De même, le commutateur 35 comporte 6 entrées, chacune reliée à la piste X de chaque sonde bipolarisée.

25 Tous les commutateurs sont pilotés par le micro ordinateur 9 en synchronisation avec l'acquisition des données par l'analyseur de réseaux 8.

Bien sûr, l'invention n'est pas limitée aux exemples qui viennent d'être décrits et de nombreux aménagements 30 peuvent être apportés à ces exemples sans sortir du cadre de l'invention. On peut notamment envisager la mesure du champ électrique en utilisant la méthode de diffusion modulée conformément aux figures 8 et 9. Pour ce faire, on utilise une rétine 36 associée à un collecteur 37. Le 35 collecteur est ensuite relié à un système récepteur de traitement de données. La rétine est constituée par un

- 16 -

- panneau diélectrique portant en réseau plusieurs dipôles chargés par des diodes (modulation électrique). Chaque diode peut être adressée au moyen de câbles électriques de polarisation spécifiée par ligne et colonne. Par adressage 5 ligne-colonne, la diode d'un dipôle peut être modulée. Le signal disponible à l'entrée du collecteur est alors proportionnel au champ à l'emplacement de ce dipôle. Avec un tel système, les diodes sont modulées en basse fréquence à environ quelques 100 kHz.
- 10 Pour réduire les risques d'interaction entre les câbles d'adressage de modulation, on peut envisager d'utiliser une modulation optique des dipôles chargés alors par des éléments photo-sensibles. La modulation de ces éléments photo-sensibles ou d'un faisceau laser s'effectue 15 alors par l'intermédiaire de fibres optiques, très peu perturbateurs aux fréquences micro-ondes.

REVENDICATIONS

1. Procédé pour mesurer un Débit d'Absorption Spécifique DAS dans un fantôme rempli d'un liquide 5 reconstituant les propriétés diélectriques d'un tissu biologique, ce fantôme étant exposé à une émission micro-onde provenant d'une antenne; ce procédé est caractérisé en ce que :

- on mesure le champ électrique en amplitude et en 10 phase à l'intérieur du fantôme, pour une pluralité de points s'inscrivant sur une surface donnée définie dans une zone de champ proche de concentration dudit champ électrique;
- on réalise une transformation champ proche-champ 15 proche à partir des données mesurées sur cette surface de façon à déterminer le champ électrique dans le volume à l'intérieur du fantôme; et
- on calcule la valeur du DAS.

20 2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'on mesure le champ électrique en utilisant au moins une sonde apte à mesurer deux composantes tangentialles, à ladite surface, du champ électrique en chaque point de mesure; la composante normale étant déduite par calcul à 25 partir des deux composantes tangentialles sur ladite surface.

30 3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce qu'on réalise la transformation champ proche-champ proche en utilisant un algorithme de développement en sommes d'ondes planes.

35 4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que ledit algorithme, prenant en compte les pertes dans le liquide, utilise des transformées de Fourier Rapides.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que, au cours de la transformation champ proche-champ proche, on réalise un filtrage de façon à limiter des effets de remontée de bruit dus aux ondes évanescantes.

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'on mesure le champ électrique au moyen d'une pluralité de sondes disposées en 10 réseau de telle sorte qu'on réalise des mesures rapides, en temps réel.

7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce qu'on visualise en temps réel sur un écran de visualisation 15 la valeur du champ électrique et du DAS.

8. Procédé selon la revendication 6 ou 7, caractérisé en ce qu'on utilise des sondes bipolarisées de façon à mesurer deux composantes tangentielles, à ladite surface, 20 du champ électrique en chaque point de mesure et en déduire l'amplitude et la phase; la composante normale étant déduite par calcul à partir des deux composantes tangentielles.

25 9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ladite surface se situe sensiblement à une distance optimale de quinze à vingt-cinq millimètres de la paroi interne du fantôme.

30 10. Système pour mesurer un Débit d'Absorption Spécifique DAS dans un fantôme rempli d'un liquide reconstituant les propriétés diélectriques d'un tissu biologique, ce fantôme étant exposé à une émission micro-onde provenant d'une antenne; ce système est caractérisé en 35 ce qu'il comprend :

- des moyens pour mesurer le champ électrique en amplitude et en phase, à l'intérieur du fantôme, pour une pluralité de points s'inscrivant sur une surface donnée définie dans une zone de champ proche de concentration dudit champ électrique;
- des moyens de traitement pour réaliser une transformation champ proche-champ proche à partir des données mesurées sur cette surface de façon à déterminer le champ électrique dans le volume à l'intérieur du fantôme, et pour calculer la valeur du DAS.

11. Système selon la revendication 10, caractérisé en ce que les moyens de mesure du champ électrique en amplitude et en phase comprennent un réseau de sondes bipolarisées apte à mesurer deux composantes tangentialles, à ladite surface, du champ électrique en chaque point de mesure; la composante normale étant déduite par calcul à partir des deux composantes tangentialles.

12. Système selon la revendication 11, caractérisé en ce que chaque sonde comporte deux dipôles électriques orthogonaux constitués par quatre pistes distinctes conductrices coplanaires fixées en forme de croix sur un substrat mince et rigide.

13. Système selon la revendication 11 ou 12, caractérisé en ce que le réseau de sondes est un réseau plan parallèle à la paroi du fantôme d'où provient le signal micro-onde.

14. Système selon la revendication 11 ou 12, caractérisé en ce que le réseau de sondes est un réseau dont la forme imite la forme du côté du fantôme exposé au signal micro-onde.

15. Système selon l'une quelconque des revendications
11 à 14, caractérisé en ce que les moyens de traitement
comprènnent :

- 5 - un multiplexeur pour piloter successivement chaque sonde,
- 10 - un analyseur de réseaux pour recevoir les signaux micro-ondes provenant des sondes, et
- 15 - un module de traitement tel qu'un micro-ordinateur pour réaliser la transformation champ proche-champ proche, calculer le DAS et piloter le multiplexeur et l'analyseur de réseau.

16. Système selon la revendication 15, caractérisé en ce que le multiplexeur comprend, disposés en cascade, et
15 pour une rangée de six sondes :

- 20 - un premier commutateur pour sélectionner successivement les deux polarisations horizontale et verticale des sondes, dont les entrées sont reliées à deux symétriseurs,
- 25 - quatre autres commutateurs pour sélectionner l'une des six sondes, chaque commutateur étant affecté à l'une des quatre pistes des sondes, chaque entrée de chaque commutateur étant relié à chacune des six sondes, et les quatre sorties des commutateurs étant reliées deux à deux aux entrées des symétriseurs.

17. Système selon la revendication 15, caractérisé en ce que le multiplexeur consiste en un circuit électronique composé de commutateurs microondes intégrés montés en
30 surface (CMS).

18. Système selon l'une quelconque des revendications
11 à 17, caractérisé en ce que les sondes sont constituées en un réseau plan carré de côté sensiblement égal à

soixante-dix millimètres dans le cas de la mesure du DAS de téléphones portables.

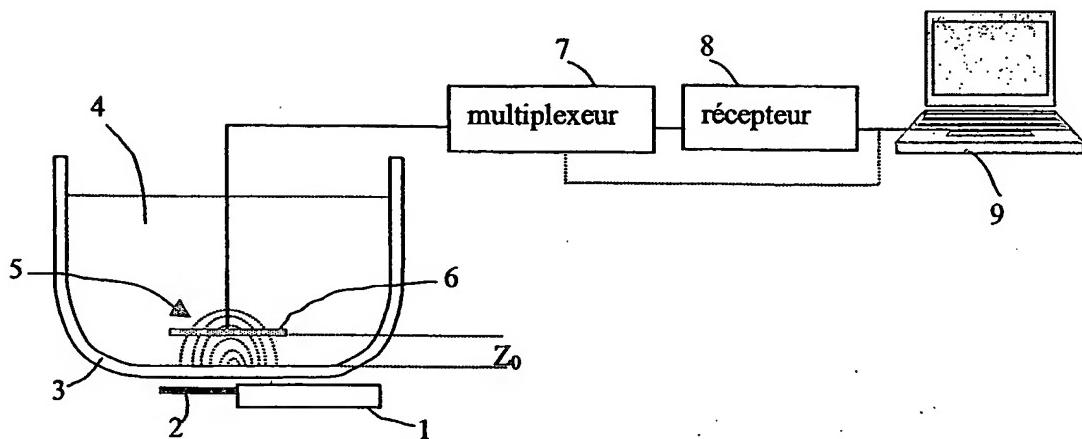
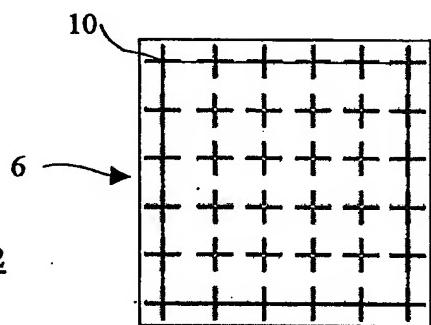
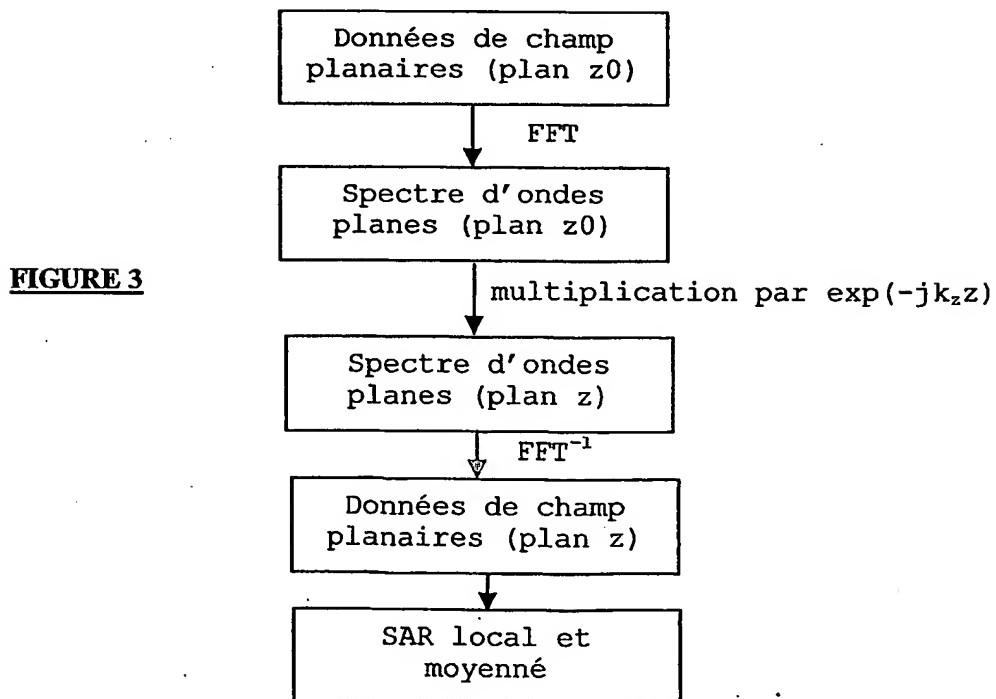
19. Système selon l'une quelconque des revendications
5 11 à 18, caractérisé en ce que, les sondes étant constituées en réseau, la distance entre deux sondes est au plus égale à la moitié de la longueur d'onde du signal micro-onde émis.

10 20. Système selon l'une quelconque des revendications
11 11 à 19, caractérisé en ce que, les sondes étant constituées en réseau, la distance entre le réseau de sondes et la paroi du fantôme exposé au signal micro-onde est typiquement sensiblement comprise entre quinze
15 millimètres et vingt-cinq millimètres, selon la bande de fréquences considérée.

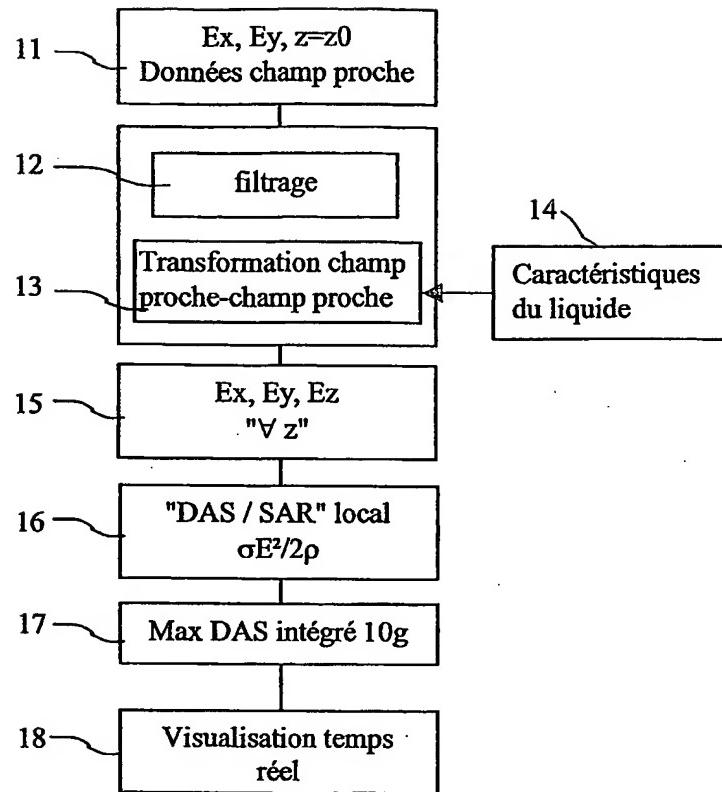
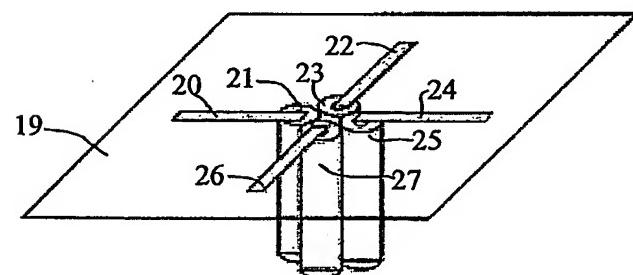
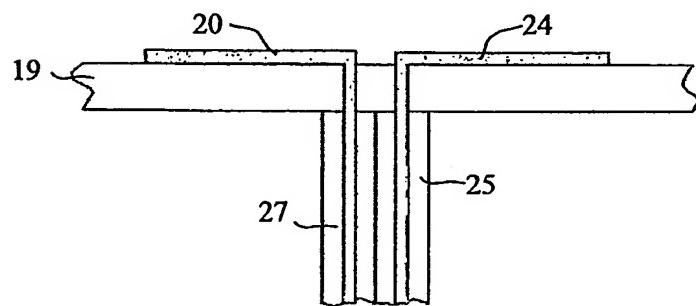
21. Système selon l'une quelconque des revendications
11 à 20, caractérisé en ce que les sondes sont constituées
20 en un réseau de trente-six sondes.

22. Système selon la revendication 10, caractérisé en ce que les moyens de mesure comprennent un réseau de dipôles associé à un collecteur selon une méthode de diffusion modulée, chaque dipôle étant chargé par une diode qui, lorsqu'elle est modulée, diffuse vers le collecteur un signal proportionnel au champ électrique à l'emplacement du dipôle associé.

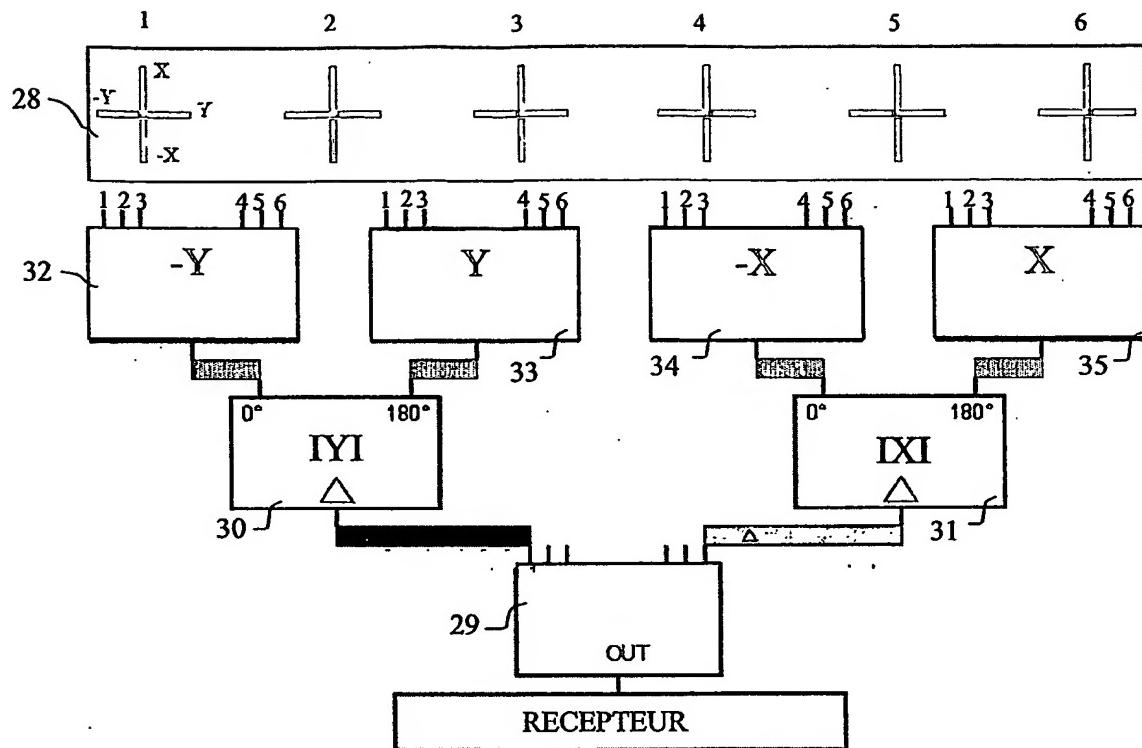
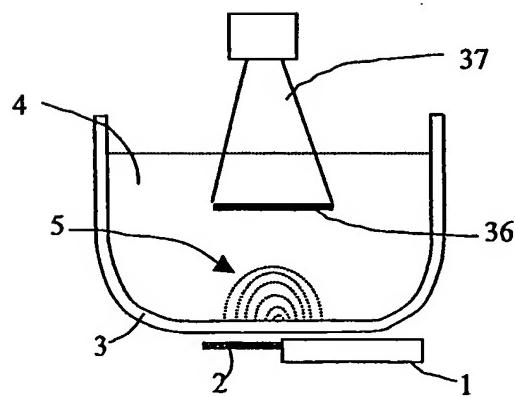
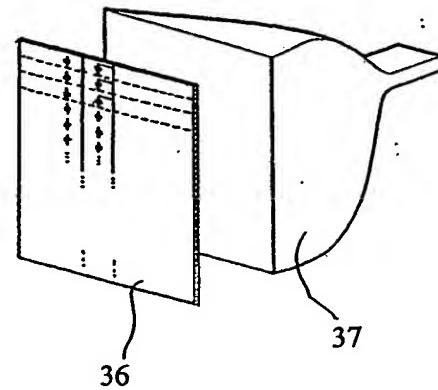
1/3

**FIGURE 1****FIGURE 2****FIGURE 3**

2/3

**FIGURE 4****FIGURE 5****FIGURE 6**

3/3

**FIGURE 7****FIGURE 8****FIGURE 9**